

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-77287

(P2002-77287A)

(43) 公開日 平成14年3月15日 (2002.3.15)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	キーワード (参考)
H 0 4 L 27/38		H 0 4 B 3/06	Z 5 K 0 0 4
H 0 4 B 3/06		H 0 4 L 27/00	C 5 K 0 2 2
1/707		H 0 4 J 13/00	D 5 K 0 4 6
H 0 4 L 27/227		H 0 4 L 27/22	B
27/22			F

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2000-259029 (P2000-259029)

(22) 出願日 平成12年8月29日 (2000.8.29)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 久村 孝寛

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 100088328

弁理士 金田 暢之 (外2名)

Fターム (参考) 5K004 AA05 AA08 FG02 FK15 JG01

5K022 EED1

5K046 AA05 BA05 BB05 EF54 PP09

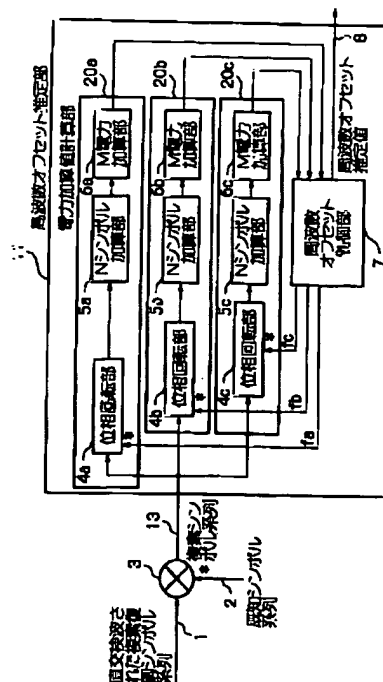
YY01

(54) 【発明の名称】 周波数オフセット推定器

(57) 【要約】

【課題】 雑音電力に対する受信キャリア電力の比が低い場合でも周波数オフセットの推定を可能にする。

【解決手段】 直交検波された複素復調シンボル系列1と既知シンボル系列2の共役複素数との積である複素シンボル系列13は位相回転部4a、4b、4cに与えられ、周波数オフセットfa、fb、fcにもとづいて複素シンボル系列13の位相を変化させる。Nシンボル加算部5a、5b、5cは位相回転部4a、4b、4cから入力された値をNシンボル分加算し、M電力加算部6a、6b、6cはNシンボル加算部5a、5b、5cから入力された値の電力を計算し、M回電力加算する。周波数オフセット制御部7はM電力加算部6a、6b、6cから入力された3つの電力加算値にもとづいて位相回転部4a、4b、4cへ与える周波数オフセットを制御するとともに、周波数オフセット推定値8を出力する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 直交検波された複素復調シンボル系列を入力し、該複素復調シンボル系列に対応する既知シンボル系列の共役複素数と該複素復調シンボル系列との積を計算してシンボル情報成分を除去する複素乗算部と、与えられた周波数オフセットにもとづいてシンボル情報成分除去後の前記複素復調シンボル系列の電力加算値を計算する複数の電力加算値計算部と、前記複数個の電力加算値計算部から得られた電力加算値をもとにして前記電力加算値計算部へ与える周波数オフセットを制御しつつ前記複素復調シンボル系列に含まれる周波数オフセットを推定し、出力する周波数オフセット制御部を有し、前記各電力加算値計算部は、与えられた周波数オフセットにもとづいて前記シンボル情報成分除去後の複素復調シンボル系列の位相を変化させる位相回転部と、該位相回転部が出力する複素シンボルを複数シンボル分加算するNシンボル加算部と、該Nシンボル加算部によって計算された複素シンボル加算値の電力を計算しつつ複数シンボル分電力加算するM電力加算部とを含む周波数オフセット推定器。

【請求項2】 直交検波された複素復調シンボル系列を入力し、該複素復調シンボル系列に対応する既知シンボル系列の共役複素数と該複素復調シンボル系列との積を計算し、前記複素復調シンボル系列に含まれるシンボル情報成分を除去する複数の複素乗算部と、これらシンボル情報成分を除去された複数個の複素復調シンボル系列を最大比合成して1つの複素シンボル系列にする最大比合成部と、与えられた周波数オフセットにもとづいて最大比合成後の前記複素シンボル系列の電力加算値を計算する複数の電力加算値計算部と、前記複数個の電力加算値計算部から得られた電力加算値をもとにして前記電力加算値計算部へ与える周波数オフセットを制御しつつ該複素復調シンボル系列に含まれる周波数オフセットを推定し、出力する周波数オフセット制御部を有し、前記各電力加算値計算部は、与えられた周波数オフセットにもとづいて最大比合成後の該複素シンボル系列の位相を変化させる位相回転部と、該位相回転部が出力する複素シンボルを複数シンボル分加算するNシンボル加算部と、該Nシンボル加算部によって計算された複素シンボル加算値の電力を計算しつつ複数シンボル分電力加算するM電力加算部とを含む周波数オフセット推定器。

【請求項3】 直交検波された複素復調シンボル系列を入力し、該複素復調シンボル系列に対応する既知シンボル系列の共役複素数と該複素復調シンボル系列との積を計算してシンボル情報成分を除去する複素乗算部と、与えられた周波数オフセットにもとづいてシンボル情報成分除去後の前記複素復調シンボル系列の電力加算値を計

算する複数の電力加算値計算部と、前記複数個の電力加算値計算部から得られた電力加算値をもとにして前記電力加算値計算部へ与える周波数オフセットを制御しつつ前記複素復調シンボル系列に含まれる周波数オフセットを推定し、出力する周波数オフセット制御部を有し、前記各電力加算値計算部は、与えられた周波数オフセットにもとづいて前記シンボル情報成分除去後の複素復調シンボル系列の位相を変化させる位相回転部と、該位相回転部が出力する複素シンボルを複数シンボル分加算するNシンボル加算部と、該Nシンボル加算部によって計算された複素シンボル加算値の電力を計算しつつ複数シンボル分電力加算するM電力加算部を含む複数の周波数オフセット推定部と、

これら複数の周波数オフセット推定部から得られた周波数オフセット推定値を最大比合成して1つの周波数オフセット推定値とする最大比合成部とを有する周波数オフセット推定器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は直交変調方式によって変調された信号を復調する受信機に使用される周波数オフセット推定器に関する。

【0002】

【従来の技術】陸上移動通信において、検波方式として一般に使用されている準同期検波は、送信キャリア周波数と受信機の準同期検波用基準キャリア周波数が一致していなくてはならない。しかし、送受信機の発振器の周波数安定度や精度が十分でない場合、両者の周波数に違いが生じる。これを周波数オフセットと呼ぶ。周波数オフセットがある場合、検波後の信号は位相回転してしまうため、正しく復調できない。これを防ぐために、一般にAFC(Automatic Frequency Control)が使用される。AFCは送信側キャリア周波数と受信側キャリア周波数の間の周波数オフセットを推定し、発振器の周波数を制御する。さらに、この周波数オフセットによって発生する復調シンボルの位相回転を補正する。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】従来、AFCにおける周波数オフセット推定器として、特開平8-213933号公報の第2図や「1996年6月、信学技法 RCS96-25、第1～6項、「広い周波数引き込み範囲を有する1/2シンボル遅延検波型AFCの特性」」、「1998年9月、信学技法 RCS98-81、第13～18項、「時間分散の大きいフェージング伝送路における周波数オフセット推定方式」」等に見られるように遅延検波を用いた周波数オフセット推定器が使用されてきた。しかし、遅延検波型周波数オフセット推定器は、雑音電力に対するキャリア電力の比CNR(Carrier to Noise Power Ratio)が低い場合に著しく推定精度が劣化するという欠点がある。

【0004】例えば、準同期検波を用いているCDMA (Code Division Multiple Access) 通信方式では、レイク合成によるパスダイバーシチ効果を有効に活用しており、さらに誤り訂正符号や送信電力制御などの効果により、ビット誤り率BER (Bit Error Rate) = 0.1%における所要SNR (Signal to Noise Power Ratio) は0dB程度となる場合もある。そのため、CNRが低くとも周波数オフセットを推定できる方式が必要となる。

【0005】従来の周波数オフセット推定器について、図6を用いて説明する。図6の遅延検波型周波数オフセット推定器では、シンボル間の位相差により周波数オフセットを推定する。まず、直交検波された複素復調シンボル系列1とそれに対応する既知シンボル系列2の複素共役との積を複素乗算部3で計算する。この積を複素シンボル系列13として遅延検波部15に入力する。遅延検波部15は、複素シンボル系列13を遅延回路16によって数シンボル遅延させ、遅延回路16を通過した遅延シンボルの複素共役と元の複素シンボル系列13との積を計算する。この積は平均化回路17に与えられ平均化された後、周波数オフセット推定値18として出力される。このとき、直交検波された複素復調シンボル1に加わった雑音が大きくなると、シンボル間の位相差のばらつきも大きくなり、結果として周波数オフセットの推定精度が劣化してしまう。遅延検波を用いた場合でも、遅延シンボル数を増やせばある程度推定精度は向上することが知られている。これは、雑音による位相のばらつきに対してシンボル間の位相差が相対的に大きくなるためである。しかし、遅延シンボル数を増やすと推定可能な周波数オフセットの範囲が狭くなってしまうという欠点がある。したがって、遅延検波型周波数オフセット推定器を用いた場合、遅延シンボル数に関して推定精度と推定範囲のトレードオフは避けられない。

【0006】一方、他の周波数オフセット推定方式としてFFT (Fast Fourier Transform) を利用する方法が提案されている。この種の推定方式では、受信したシンボルをFFTで周波数領域へ変換し、スペクトル包絡線のピークを示す周波数を周波数オフセットと判断する。受信信号のCNRが低い場合でも比較的ピークが得られやすいので、低CNR時の推定精度は遅延検波よりも優れている。ただし、推定精度はFFTの次数に依存している。文献「電子情報通信学会論文誌A Vol. J 70-A, No. 5, 第798~805頁, “FFTを用いた高精度周波数決定法”」では、FFTを使って周波数を推定する場合は少なくとも32点以上のFFTを使用すべきだと述べている。しかし、32点以上のFFTが使用できない場合もある。

【0007】従来から、周波数オフセットの推定には予め決められた順番で送信される既知のシンボルを使っていた。移動体通信では、いくつかのシンボルで構成され

る区間をスロットと呼ぶが、このスロットにはパイロットシンボルやデータシンボル、制御シンボルなどが配置される。パイロットシンボルとは、予め決められた順番で送信される既知のシンボルである。スロット内のシンボル総数は十数個から数百個程度であるが、通常パイロットシンボルの数はデータシンボルよりも少ない。

【0008】次世代移動通信の国際標準IMT-2000を例にとると、文献「3G TS 25.211 version 3.2.0, 3rd Generation Partnership Project: Technical Specification Group Radio Access Network; Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels (FDD)」に記述されているように、ビットレートが高い場合でも1つのスロットには高々16個しかパイロットシンボルを含まない。つまり、1スロット区間の連続するパイロットシンボルを使って周波数オフセットを推定する場合、FFTを利用するにはパイロットシンボル数が少ないのである。複数スロット区間のパイロットシンボルを使う場合、推定可能な周波数オフセットの範囲が狭くなってしまう。

【0009】他方、特開平9-200081号公報の第1図にみられるようなピーク検出型の周波数オフセット推定方式も提案されている。この方式は、直接符号拡散通信方式において、絶対値の等しく符号の異なる周波数オフセットを予め与えた複素拡散符号を用いて直交検波されたベースバンド複素信号を逆拡散し、最大ピークを検出したタイミングで得られる数シンボルの平均を求め、予め測定しておいた変換表を用いてその電力値を周波数オフセットに変換する周波数オフセット推定方式である。この推定方式は、周波数オフセットを与えた拡散符号によって逆拡散したシンボルの平均値を使うため、低CNR時における推定精度は遅延検波型よりも良いと考えられる。しかし、周波数オフセットを得るためには予め変換表を作る必要がある。変換表を使う場合、装置間の素子の特性がばらつくと変換後の周波数オフセットが装置によって異なることも考えられるため、一般には変換表の作成は容易ではない。また、変換表を保存しておくためのメモリも必要となる。さらに、装置間の素子特性のばらつきを押さえるために補正が必要になる。

【0010】本発明の目的は、CDMA通信方式において低CNR時でも推定精度が劣化しにくい周波数オフセット推定器を提供することである。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の態様によれば、周波数オフセット推定器は複素乗算部と周波数オフセット推定部を有する。周波数オフセット推定部は複数の電力加算値計算部と周波数オフセット制御部からなる。

【0012】複素乗算部は、直交検波された複素復調シンボル系列を入力し、該複素復調シンボル系列に対応する既知シンボル系列の共役複素数と該複素復調シンボル

系列との積を計算してシンボル情報成分を除去する。

【0013】各電力加算値計算部は、与えられた周波数オフセットにもとづいてシンボル情報成分除去後の複素復調シンボル系列の電力加算値を計算するもので、与えられた周波数オフセットにもとづいてシンボル情報成分除去後の複素復調シンボル系列の位相を変化させる位相回転部と、位相回転部が出力する複素シンボルを複数シンボル分加算するNシンボル加算部と、Nシンボル加算部によって計算された複素シンボル加算値の電力を計算しつつ複数シンボル分電力加算するM電力加算部からなる。

【0014】周波数オフセット制御部は、複数個の電力加算値計算部から得られた電力加算値をもとにして電力加算値計算部へ与える周波数オフセットを制御しつつ複素復調シンボル系列に含まれる周波数オフセットを推定し、出力する。

【0015】このように、周波数オフセット推定において同相加算による利得を利用し、さらに電力加算によって同相加算した電力値を平均化しているため、結果的に受信キャリア電力のCNRよりも数dB高いCNRで周波数オフセット推定を行うことができる。

【0016】本発明の第2の態様によれば、周波数オフセット推定器は複数の複素乗算部と最大比合成部と複数の電力加算値計算部と周波数オフセット制御部を有する。

【0017】各複素乗算部は、直交検波された複素復調シンボル系列を入力し、該複素復調シンボル系列に対応する既知シンボル系列の共役複素数と該複素復調シンボル系列との積を計算し、各々の複素復調シンボル系列に含まれるシンボル情報成分を除去する。最大比合成部はこれらシンボル情報成分を除去された複数個の複素復調シンボル系列を最大比合成して1つの複素シンボル系列にする。電力加算値計算部と周波数オフセット制御部は第1の態様中の対応するものと同じである。

【0018】本発明の第3の態様によれば、周波数オフセット推定器は第1の態様の複数の周波数オフセット推定器と、これら周波数オフセット推定器の周波数オフセット推定値を最大比合成する最大比合成部を有する。

【0019】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

【0020】図1を参照すると、本発明の第1の実施形態の周波数オフセット推定器は、直交検波された複素復調シンボル系列1とそれらに対応する既知シンボル系列2を入力信号として使用し、複素乗算部3と周波数オフセット推定部11からなる。周波数オフセット推定部11は、電力加算値計算部20a、20b、20cと周波数オフセット制御部7からなる。電力加算値計算部20aは位相回転部4aとNシンボル加算部5aとM電力加算部6aからなる。電力加算値計算部20b、20cも

同様にして、それぞれ位相回転部4b、4c、Nシンボル加算部5b、5c、M電力加算部6b、6cからなる。

【0021】まず、直交検波された複素復調シンボル系列1と既知シンボル系列2の共役複素数との積を複素乗算部3を用いて計算する。この処理によって復調シンボル系列に含まれるシンボル情報成分が取り除かれ、周波数オフセットによって位相回転した複素シンボル系列13を取り出すことができる。既知シンボル系列としては、一般に直交変調を用いた通信方式で使用されるパイロットシンボルを使用する。また、直接符号拡散通信方式においては、既知の拡散コードとパイロットシンボルの積を既知シンボル系列として使用することもできる。従来は、この複素シンボル系列13を用いた遅延検波により周波数オフセットを推定していた。

【0022】本実施形態では、複素シンボル系列13に異なる3つの周波数オフセットを与えて複数シンボル分加算し、さらにその電力を複数シンボル分加算する。算出した3つの電力加算値をもとにして複素シンボル系列13に与える周波数オフセットを適切に制御し、この処理を何度か繰り返すことにより周波数オフセットを推定する。

【0023】複素乗算部3から出力された複素シンボル系列13は位相回転部4a、4b、4cに与えられる。位相回転部4a、4b、4cはそれぞれ周波数オフセット制御部7から与えられた周波数オフセットfa、fb、fcにもとづいて複素シンボル系列13の位相を変化させる。周波数オフセットfa、fb、fcはシンボル当たりの位相変化量として与えられる。位相回転部4aは、複素シンボル系列13の位相を負方向へ周波数オフセットfa分回転させる。位相回転部4b、4cも同様にして、複素シンボル系列13の位相を負方向へ周波数オフセットfb、fc分回転させる。位相回転部4aから出力された複素シンボルはNシンボル加算部5aに、位相回転部4bの出力はNシンボル加算部5bに、位相回転部4cの出力はNシンボル加算部5cにそれぞれ与えられる。Nシンボル加算部5a、5b、5cは位相回転部4a、4b、4cから入力された値をNシンボル分(Nは2以上の整数)加算し、Nシンボル加算部5aはM電力加算部6aに、Nシンボル加算部5bはM電力加算部6bに、Nシンボル加算部5cはM電力加算部6cに、加算後の値をそれぞれ出力する。

【0024】仮に、周波数オフセット制御部7が出力する周波数オフセットfa、fb、fcのうちどれかが推定すべき真の周波数オフセットに近い場合、その周波数オフセットを与えつつ加算した加算値は、他の周波数オフセットを与えて加算した加算値よりも大きな値を取る。さらに、Nシンボル加算部5a、5b、5cにおける加算によって、加算後のシンボルに占める加法性白色ガウス雑音の割合も相対的に減少する。

【0025】M電力加算部6a, 6b, 6cはNシンボル加算部5a, 5b, 5cから入力された値の電力を計算し、M回(Mは2以上の整数)電力加算する。これにより、Nシンボル加算部5a, 5b, 5cから出力される加算値の電力値を平均化する。こうして得られた3つの電力加算値は周波数オフセット制御部7に与えられる。Nシンボル加算部5a, 5b, 5cにおいてNシンボル分の加算を、M電力加算部6a, 6b, 6cにおいてM回の電力加算を行うので、M電力加算部6a, 6b, 6cは直交検波された $N \times M$ 個の複素復調シンボルを使って各々1つの電力加算値を周波数オフセット制御部7へ出力する。

【0026】周波数オフセット制御部7はM電力加算部6a, 6b, 6cから入力された3つの電力加算値にもとづいて、位相回転部4a, 4b, 4cへ与える周波数オフセットを制御する。周波数オフセットを与えつつ加算および電力加算した3つの電力値は、与えた周波数オフセットが推定すべき真の周波数オフセットに近いほど大きな値を示す。したがって、その大小関係をもとにして位相回転部4a, 4b, 4cへ与える周波数オフセット f_a, f_b, f_c を制御することができる。

【0027】位相回転部4a, 4b, 4cへ与えられる周波数オフセット f_a, f_b, f_c が周波数オフセット制御部7によって更新されると、更新された周波数オフセットを用いて、再び位相回転部4a, 4b, 4cとNシンボル加算部5a, 5b, 5cとM電力加算部6a, 6b, 6cにより電力加算値を計算する。周波数オフセット制御部7は算出された電力加算値を用いて周波数オフセット f_a, f_b, f_c を再び適切に制御する。この電力加算値の計算と周波数オフセットの更新を何度か繰り返した後、周波数オフセット制御部7は周波数オフセット f_a, f_b, f_c の中から1つを選んで周波数オフセット推定値8として出力する。

【0028】次に、M電力加算部6a, 6b, 6cが算出する3つの電力加算値の大小関係について、図2を使って説明する。図2は図1における複素シンボル系列13の電力スペクトル分布を示している。横軸は周波数を、縦軸は電力スペクトルの大きさを示す。図1における複素シンボル系列13は、直交検波された複素復調シンボル系列1と既知シンボル系列2の複素共役との積であるから、周波数オフセットが無ければ直流成分にピークが存在するはずである。正の周波数オフセット f_z を含んでいる場合、図2に示すように複素シンボル系列13の電力スペクトルは中心周波数が f_z だけ正の方向にシフトした、単純な凸波形となっている。つまり、周波数オフセット f_z における電力スペクトルが最も大きく、 f_z から離れるに従って電力スペクトルは減少する。

【0029】いま、図1の周波数オフセット推定器において位相回転部4a, 4b, 4cへ与える周波数オフセ

ットをそれぞれ f_a, f_b, f_c と表し、 $f_a < f_b < f_c$ という大小関係を持たせる。さらに、各周波数オフセット f_a, f_b, f_c における電力スペクトルをそれぞれ P_a, P_b, P_c とすると、 f_a, f_b, f_c と f_z の大小関係により P_a, P_b, P_c の大小関係が変化する。図2(1)のように $f_a < f_b < f_c < f_z$ である場合、電力スペクトルの大小関係は $P_a < P_b < P_c$ となる。反対に、 $f_z < f_a < f_b < f_c$ である場合は、図2(2)のように $P_a > P_b > P_c$ となる。このような関係を使って、周波数オフセット制御部7は位相回転部4a, 4b, 4cに与える周波数オフセットを制御する。

【0030】次に、図3を用いて周波数オフセット制御部7の具体例について説明する。周波数オフセット制御部7にはM電力加算部6a, 6b, 6cからそれぞれ電力値 P_a, P_b, P_c が与えられる。 P_a は、周波数オフセット f_a を位相回転部4aへ与えつつNシンボル加算部5aとM電力加算部6aが計算した電力加算値である。 P_b は、周波数オフセット f_b を位相回転部4bへ与えつつNシンボル加算部5bとM電力加算部6bが計算した電力加算値である。 P_c は、周波数オフセット f_c を位相回転部4cへ与えつつNシンボル加算部5cとM電力加算部6cが計算した電力加算値である。これら3つの電力加算値 P_a, P_b, P_c を用いて、位相回転部4a, 4b, 4cへ与える周波数オフセット f_a, f_b, f_c を更新する。先ほど述べた f_z と f_a, f_b, f_c と電力スペクトルの関係を利用して、電力加算値 P_a と P_b と P_c を比較して f_{cand} を決定する。以下に f_{cand} を決定する式の一例を示す。

(1) 電力加算値 P_a と P_b と P_c の大小関係が $P_a > P_b > P_c$ である場合、 $f_{cand} = f_a$ とする。

(2) 電力加算値 P_a と P_b と P_c の大小関係が $P_c > P_b > P_a$ である場合、 $f_{cand} = f_c$ とする。

(3) 電力加算値 P_a と P_b と P_c の大小関係が(1)、(2)に当てはまらない場合、 $f_{cand} = f_b$ とする。

さらに、 Δf なる値を使用する。 Δf は現在の値の $1/2$ を次の Δf とする。

【0031】 $\Delta f = \Delta f / 2$

このようにして決定した f_{cand} と Δf を用いて、周波数オフセット f_a, f_b, f_c を次式のように更新する。

【0032】

$$f_a = f_{cand} + \Delta f$$

$$f_b = f_{cand}$$

$$f_c = f_{cand} - \Delta f$$

このような f_a, f_b, f_c の決定方法に従った場合、 f_b には更新前の f_a, f_b, f_c のいずれかの値が代入される。したがって、更新前に計算した電力加算値 P_a, P_b, P_c のうち f_{cand} に対応する電力加算値

を、そのまま次回の f_a , f_b , f_c の更新時に P_b として使用することができる。つまり、 f_a , f_b , f_c を最初に更新する場合は、位相回転部 4 a, 4 b, 4 c と N シンボル加算部 5 a, 5 b, 5 c と M 電力加算部 6 a, 6 b, 6 c を全て動作させて、電力加算値 P_a , P_b , P_c を計算するが、1 度 f_a , f_b , f_c を更新すれば位相回転部 4 b、N シンボル加算部 5 b、M 電力加算部 6 b を動作させる必要はない。以上のようにして、周波数オフセット制御部 7 は周波数オフセット f_a , f_b , f_c を何度か更新した後、 f_{cand} を周波数オフセット推定値 8 として出力する。もちろん、上記以外の f_a , f_b , f_c の決定方法を使用することも可能である。

【0033】次に、本発明の第 2 の実施の形態について図 4 を使って説明する。本実施形態の周波数オフセット推定器は、直交検波された P 個の複素復調シンボル系列 1 (#1-#P) と、それらに対応する既知シンボル系列 2 (#1-#P) を入力信号として使用し、複素乗算部 3 と最大比合成部 9 と周波数オフセット推定部 11 により周波数オフセットを推定する。周波数オフセット推定部 11 は図 1 の周波数オフセット推定部 11 と全く同じ機能を有する。

【0034】複数の複素復調シンボル系列 1 は、例えば異なるアンテナからの信号であってもよいし、例えば直接拡散通信方式におけるマルチパス信号であってもよい。複数の複素復調シンボル系列 1 を用いることにより、いくらかの利得が期待でき、冗長性を持たせることもできる。

【0035】直交検波された複素復調シンボル系列 #1-#P とそれらに対応する既知シンボル系列 #1-#P の共役複素数との積が複素乗算部 3 によって計算され、それらは最大比合成部 9 へ入力される。最大比合成部 9 は、まず、複素乗算部 3 から入力された複素シンボル系列 #1-#P の CNR を推定する。次に、合成後の CNR が最大となるように各シンボル系列に対する重み係数を各シンボル系列の CNR から決定する。そして、決定した重み係数を用いて #1-#P の各シンボル系列を重み付けした後同相で合成し、複素シンボル系列 14 として出力する。最大比合成された複素シンボル系列 14 は周波数オフセット推定部 11 へ与えられる。周波数オフセット推定部 11 の動作は、図 1 と全く同じである。

【0036】次に、本発明の第 3 の実施の形態について図 5 を使って説明する。本実施形態の周波数オフセット推定器は、直交検波された P 個の複素復調シンボル系列 1 (#1-#P) と、それらに対応する既知シンボル系列 2 (#1-#P) を用いており、各複素復調シンボル系列 1 に対して独立に周波数オフセット推定を行う第 1 の実施形態の P 個の周波数オフセット推定器 12 と、それら周波数オフセット推定器 12 の推定した P 個の周波数オフセット推定値を最大比合成する最大比合成部 19

からなる。

【0037】まず、直交検波された複素復調シンボル系列 #1-#P は P 個の周波数オフセット推定器 12 に入力される。周波数オフセット推定器 12 は第 1 の実施形態の周波数オフセット推定器である。周波数オフセット推定器 12 は対応する複素シンボル系列 #1-#P を用いて周波数オフセット推定値 8 をそれぞれ推定する。最大比合成部 19 は、まず、複素シンボル系列 #1-#P に対する情報シンボル成分除去後の複素シンボル系列 13 の CNR を推定する。次に、複素シンボル系列 #1-#P に対する複素シンボル系列 13 を合成した場合の CNR が最大となるように各シンボル系列に対する重み付け係数を各シンボル系列の CNR から決定する。そして、決定した重み係数を用いて複素復調シンボル系列 #1-#P に対応する P 個の周波数オフセット推定値 8 を重み付け加算し、周波数オフセット推定値 10 として出力する。

【0038】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、雑音電力に対する受信キャリア電力の比が低い場合でも周波数オフセットを推定できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施の形態の周波数オフセット推定器のブロック図である。

【図 2】周波数オフセット f_z を含む信号の電力スペクトルと周波数オフセット制御部 7 が制御する周波数オフセット f_a , f_b , f_c との関係を示す図である。

【図 3】周波数オフセット制御部 7 の具体例を示すブロック図である。

【図 4】本発明の第 2 の実施の形態の周波数オフセット推定器のブロック図である。

【図 5】本発明の第 3 の実施の形態の周波数オフセット推定器のブロック図である。

【図 6】遅延検波を用いた従来の周波数オフセット推定器を示すブロック図である。

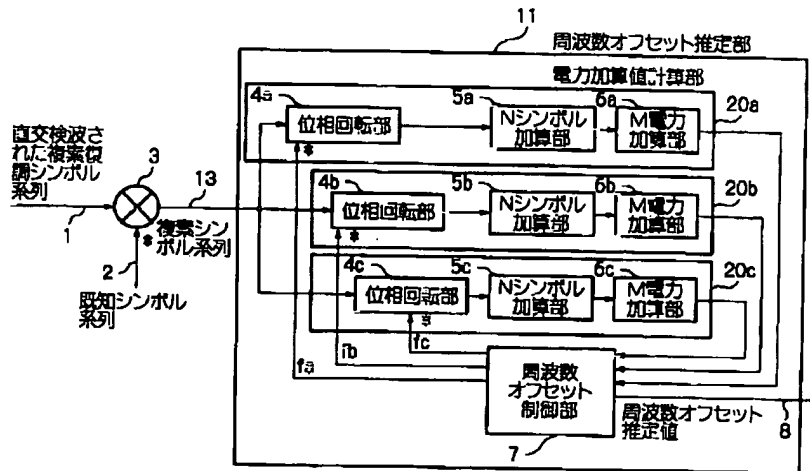
【符号の説明】

- 1 直交検波された複素復調シンボル系列
- 2 既知シンボル系列
- 3 複素乗算部
- 4 a, 4 b, 4 c 位相回転部
- 5 a, 5 b, 5 c N シンボル加算部
- 6 a, 6 b, 6 c M 電力加算部
- 7 周波数オフセット制御部
- 8 周波数オフセット推定値
- 9 最大比合成部
- 10 周波数オフセット推定値
- 11 周波数オフセット推定部
- 12 周波数オフセット推定部
- 13 複素復調シンボル系列から情報成分を除去された複素シンボル系列

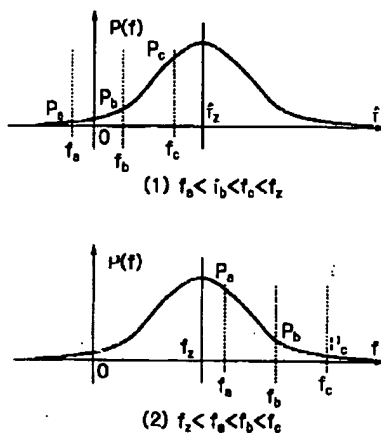
- 14 複数の複素復調シンボル系列から情報成分を除去して最大比合成された複素シンボル系列
 15 従来の周波数オフセット推定器における遅延検波部
 16 従来の周波数オフセット推定器における遅延検波部
 17 従来の周波数オフセット推定器における平均化回路
 18 従来の周波数オフセット推定器によって推定された周波数オフセット推定値
 19 最大比合成部
 20 a, 20 b, 20 c 電力加算値計算部
 f a 周波数オフセット生成部 4 a が生成する周波数オフセット

- f b 周波数オフセット生成部 4 b が生成する周波数オフセット
 f c 周波数オフセット生成部 4 c が生成する周波数オフセット
 P a 周波数オフセット f a を与えつつ加算および電力加算した電力加算値
 P b 周波数オフセット f b を与えつつ加算および電力加算した電力加算値
 P c 周波数オフセット f c を与えつつ加算および電力加算した電力加算値
 f c and 周波数オフセット推定値の候補となる周波数オフセット
 Δ f 周波数オフセット推定値の候補 f c and に対して加える微小周波数オフセット

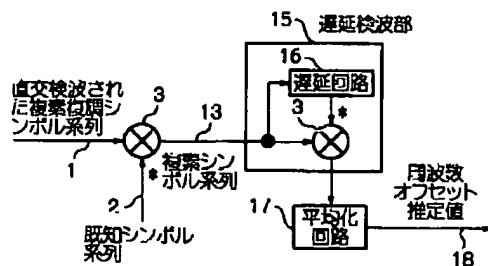
【図1】



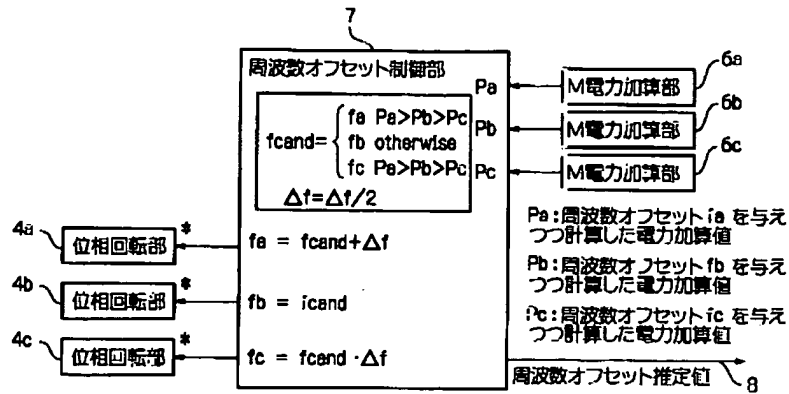
【図2】



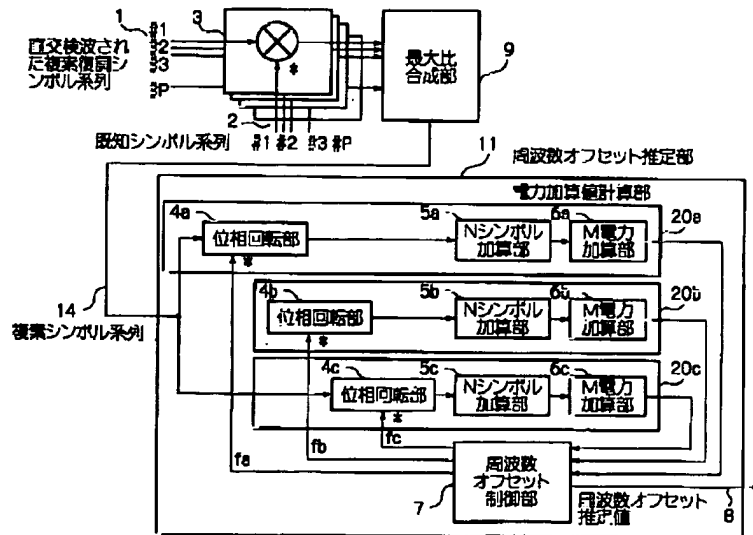
【図6】



【図3】



【図4】



【図5】

